PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 22. 15. November 1917. 18. Jahrgang.

Redaktionsschluß für No. 24 am 22. November 1917.

INHALT:

Zum Andenken an Marian von Smoluchowski.

In Krakau verschied am 5. September d. J. nach kurzem Krankenlager an der Ruhr M. v. Smoluchowski. Wer seine glänzende wissenschaftliche Tätigkeit verfolgt hat, sah in ihm den eigentlichen Erben des Boltzmannschen Geistes der Naturbetrachtung. Mit dem jüngsten Aufschwunge der Atomistik wird sein Name für alle Zeiten verknüpft sein. Aus der Fülle erfolgreicher Arbeit ist er herausgerissen; niemand wird seine geistvolle Art ersetzen können.



M. Smoluchowski

Marian Ritter von Smolan-Smoluchowski wurde am 28. Mai 1872 in Vorder-Brühl bei Wien geboren als Sohn eines hohen Beamten in der Kanzlei des Kaisers Franz Joseph. In Wien besuchte er das Gymnasium und 1890—1894 die Universität, die ihn 1895 promovierte. Seine Lehrer waren Stefan und Exner. Boltzmann hat nur durch seine Schriften auf ihn gewirkt; eine nähere persönliche Berührung hat merkwürdigerweise nie stattgefunden. Enge Freundschaft verband ihn mit Hasenöhrl, der als unmittelbares Opfer des Krieges auf der Hochfläche von Lafraun 1915 gefallen ist; nicht nur wissenschaftliche Interessen, auch gleiche Liebe und Empfindung für Musik und treue Kameradschaft bei Bergtouren und beim Skisport führte beide zusammen.

Die Jahre nach seiner Promotion arbeitete Smoluchowski im Auslande: 1895/6 in Paris unter Lippmann, 1896/7 in Glasgow unter Lord Kelvin, 1897 in Berlin unter Warburg. Von seiner Lehrzeit in Glasgow zeugen einige Arbeiten (5), (6), (7)[1],

1) Die Zahlen weisen auf das nachfolgende Verzeichnis hin.

die er in Gemeinschaft mit Lord Kelvin und Dr. Beattie herausgegeben hat, über die Leitfähigkeit in Gasen, die durch Röntgen- und Uranstrahlen hervorgerufen wird, und über das elektrische Gleichgewicht zwischen Uran und einem bestrahlten Metall. Aus seiner Pariser Zeit stammt eine theoretische Arbeit über Wärmestrahlung im Anschluß an Clausius und eine gleichgerichtete experimentelle Arbeit (3), (4).

Nach der Heimat zurückgekehrt, habilitierte er sich 1898 für Physik in Wien, siedelte aber bald nach Lemberg über, wo er 1900 Extraordinarius, 1903 Ordinarius für theoretische Physik wurde. Mannigfache Ehrenstellungen sowie die Verleihung des Haitinger-Preises der Wiener Akademie legen Zeugnis ab von der Anerkennung, welche die menschlichen und wissenschaftlichen Eigenschaften des jungen Gelehrten allseitig fanden. In der Tat konnte sich schwerlich jemand, der ihm näher treten durfte, dem Zauber seines vornehmen und ästhetisch verfeinerten Wesens entziehen. Von künstlerischem Reiz war auch seine Darstellung in Schrift und Wort; den Teilnehmern an der Naturforscher-Gesellschaft in Münster 1912 und an dem Wolfskehl-Kongresse in Göttingen 1913 sind seine formvollendeten Vorträge in frischem Gedächtnis. 1913 wurde er zum Professor der Experimentalphysik als Nachfolger Witkowskis nach Krakau berufen; er starb als Rektor dieser Universität. Smoluchowski war Mitglied der Krakauer Akademie. Die Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften erwog seine Ernennung zum korrespondierenden Mitgliede, gerade als die Nachricht von seinem Tode eintraf.

So haben wir das Bild eines durch äußere Umstände in jeder Weise begünstigten, harmonischen Gelehrtenlebens vor uns, reich an Erfolg und köstlich durch rastlose Arbeit; um so tiefer fühlen wir das jähe Ende dieses Lebens, das der Wissenschaft noch so viel versprach.

Die wissenschaftliche Eigenart Smoluchowskis tritt in völliger Reife bereits hervor in der Arbeit vom Jahre 1904: „Über Unregelmäßigkeiten in der Verteilung von Gasmolekülen und deren Einfluß auf Entropie und Zustandsgleichung" (17), welche ihren würdigen Platz in der Boltzmann-Festschrift gefunden hat. Die Abweichungen vom Mittelwerte, die Schwankungserscheinungen, welche seitdem das Interesse der Physiker in steigendem Maße auf sich gezogen haben, werden hier an dem einfachsten Beispiele, den örtlichen Dichteschwankungen der idealen Gase, vorbildlich behandelt. Durch einfachste Abzählungsmethoden wird gezeigt, daß die Dichte eines Gases nicht überall dieselbe sein kann, daß vielmehr für jedes Teilvolumen Abweichungen vom Durchschnittswerte mit endlicher, durch das Gaußsche Fehlergesetz bestimmter Wahrscheinlichkeit vorkommen. Auch die Entartung dieses Gesetzes für den Fall eines sehr kleinen Teilvolumens, auf welches im Durchschnitt nur noch eine mäßige Zahl von Gasmolekeln entfällt, wird entwickelt — eine Entartung des Wahrscheinlichkeitsgesetzes, die später für die Deutung der Beobachtungen von Svedberg (44) wichtig werden sollte. Was Smoluchowski hier über den Entropiebegriff sagt, über mikroskopische und makroskopische Energie und über die Grenzen des zweiten Hauptsatzes, liest sich wie ein kurzes Programm seiner späteren umfassenden Ausführungen über denselben Gegenstand. Auch weist er bereits den Weg, wie die Dichteschwankungen physikalisch bestätigt werden können durch ihren Einfluß auf die Zustandsgleichung der wirklichen Gase.

Bald darauf fand er einen viel sichereren Weg zur Bestätigung der Dichteschwankungen durch die Opaleszenz der Gase in der Nähe ihres kritischen Punktes. Indem bei dieser Me-

thode die genauen Hilfsmittel der Optik in den Dienst der Atomistik gestellt werden, gelingt es, die Dichteschwankungen dem Auge unmittelbar sichtbar zu machen und quantitativ zu verfolgen. In seiner ursprünglichen Arbeit (20) verbindet Smoluchowski seine Theorie der Dichteschwankungen mit der berühmten Rayleighschen Formel für das Himmelsblau und kann dadurch die Wahrnehmungen früherer Beobachter über dieses Phänomen bereits in allen wesentlichen Zügen erklären. Auch weist er auf das gleiche Phänomen im kritischen Punkte zweier Lösungen hin. Besondere Annahmen über Kapillarwirkungen im kritischen Zustande, wie sie früher vielfach vorgeschlagen waren, erklärt er als überflüssig und grundlos angesichts der Selbstverständlichkeit, mit der die fraglichen Erscheinungen aus der kinetischen Theorie folgen. Später (31), (32) übernimmt er eine von Einstein herrührende Verbesserung seiner Berechnung der optischen Trübungen, welche die Rayleighsche Hilfsrechnung entbehrlich macht. In dieser verbesserten Form gestattet die Theorie den numerischen Vergleich mit Beobachtungen von Kamerlingh-Onnes und Keesom und findet ihre volle Bestätigung. Dichteschwankungen, Opaleszenz und Brownsche Bewegung sind die drei hervorstechenden Leistungen aus Smoluchowskis früherer Zeit. Die Verleihung des obengenannten Haitinger-Preises wurde ausdrücklich mit diesen drei Leistungen begründet.

Das Rätsel der Brownschen Molekularbewegung hat Smoluchowski im Jahre 1906 gelöst (19), unabhängig von und gleichzeitig mit Einstein. Daß Boltzmann, der doch zu alle dem die Grundlagen gelegt hatte, diese sinnfälligste Folgerung seiner kinetischen Prinzipien nicht selbst gezogen hat, ist, wie Einstein gelegentlich gesprächsweise äußerte, eigentlich zu verwundern. Es ist eine tragische Fügung, daß erst im Todesjahre Boltzmanns diejenige Bestätigung der Atomistik reifte, die alle Zweifler und Gegner verstummen machte. Die Smoluchowskische und die Einsteinsche Ableitung haben jede ihre besonderen Vorzüge. Smoluchowski läßt uns tiefer in den Mechanismus der Zusammenstöße hineinschauen; die Abhängigkeit von der Temperatur, der Teilchengröße, der Viskosität des Suspensionsmittels wird zuverlässig abgeleitet; nur der Zahlenkoeffizient bleibt bei der Schwierigkeit der Mittelungen unsicher. Einstein bemächtigt sich mit kühnem Griff sogleich des Endresultates, ohne sich mit den Einzelheiten des Vorganges aufhalten zu müssen: der Zahlenkoeffizient Einsteins, um 27/64 von dem Smoluchowskis verschieden, steht außer Zweifel. Die ganze Theorie ist seitdem, insbesondere durch Perrin, auf das schönste und allseitigste bestätigt worden. Smoluchowski ist auf dieses Thema wiederholt zurückgekommen, sowohl nach der praktischen Seite hin, mit Rücksicht auf die Ehrenhaftschen, Millikanschen und Brillouinschen Messungen (29), (41), (43) und die Gültigkeitsgrenzen des Stokesschen Gesetzes (33) als auch unter dem Gesichtspunkte, den Gegenstand unter allgemeine statistische Prinzipien einzuordnen (36), (47), (51).

Ganz in Boltzmannscher Richtung liegen die älteren Arbeiten Smoluchowskis über Wärmeleitung in verdünnten Gasen (8), (9), (10), (11), (13), (28). Die Erklärung des Temperatursprunges an der Gefäßwand und seine Verknüpfung mit der freien Weglänge sind zu einem gesicherten Besitz der Wissenschaft geworden. An diese Gedankengänge schließt eine größere Experimentaluntersuchung über die Wärmeleitung in pulverförmigen Körpern an (23), (26). Überhaupt liebte es Smoluchowski und hatte dazu die erforderliche Durchbildung und Spann-

kraft, zwischen theoretischer und experimenteller Arbeit abzuwechseln. Eine vielversprechende experimentelle Arbeit aus letzter Zeit liegt als Voranzeige vor (50): Experimentelle Bestätigung der Theorie des Rayleighschen Himmelsblaus, in der insbesondere die Abhängigkeit der Menge und Polarisation des zerstreuten Lichtes vom Brechungsindex des zerstreuenden Gases untersucht wird, und zwar bei völliger Staubfreiheit desselben und unter normaler Temperatur und Dichte. Wenn diese Voranzeige auch noch keine endgültigen Zahlen gibt, so zeigt sie doch, wie ausgedehnt das Opaleszenzphänomen in der Natur auftritt und wie sicher der zu seiner Erklärung ersonnene Gedankenkreis arbeitet.

Ebenfalls teils theoretisch teils experimentell hat er das geologische Problem der Gebirgsfaltung angegriffen (21), (22), dem er wohl durch seine Liebe zum Bergsteigen zugeführt wurde. Er behandelt es, in Analogie mit der Theorie der Knickung, als Gleichgewicht einer schwimmenden elastischen Platte unter dem Einfluß gleichförmig verteilter Randdrucke, wobei die instabile ebene Form in die stabile gefaltete Form übergeht. Im Modellversuche benutzte er Gelatineplatten auf Quecksilber, Goldplättchen auf Wasser usw. Charakteristisch ist es für den konsequenten Atomistiker, daß er alsbald übergeht zu dünnsten Schellackhäutchen, deren veränderliche Dicke er aus den Farben Newtonscher Ringe entnimmt und somit — von den Gebirgsfalten ausgehend — an der Grenze der molekularen Wirkungssphäre endigt, die er dann hypothetisch aus der Faltenwellenlänge berechnet. Auch über die Gletschererosion (24) hat er nachgedacht.

Außer für die theoretische und prinzipielle Gastheorie interessierte sich Smoluchowski auch für die praktische Gastheorie, die Aerodynamik, deren Gegensätzlichkeit gegenüber der Hydrodynamik er in Abhandlungen über die Methode der dynamischen Ähnlichkeit (15), (16) schön herausgearbeitet hat. Die Komplikation der aerodynamischen Differentialgleichungen, in denen die Temperatur als wesentliche Variable mitzuführen ist, steht ihrer Integration im Wege und verspricht nur Ähnlichkeitsbetrachtungen Erfolg, wie sie für dieses Gebiet von Helmholtz erdacht, aber nicht durchweg glücklich gehandhabt worden sind (man vgl. die diesbezügliche nach Ton und Inhalt vortreffliche Kritik bei Smoluchowski). Solche Ähnlichkeitsbetrachtungen werden nun l. c. auf viele aerodynamische Probleme angewandt und zur Erklärung vorhandener Beobachtungen verwertet.

In den beiden letzten Jahren hatte sich Smoluchowski mit größter Energie der Physik der Kolloide zugewandt. Hier konnte er seine statistische Denkweise erfolgreichst betätigen und unter vorsichtiger Anwendung neuer Hypothesen — elektrische Doppelschichten, Zähigkeitswiderstand bei der Koagulation — bis zu den Einzelheiten der Beobachtung fortschreiten. Die weitschichtige Literatur der Kolloidchemie beherrschte er vollkommen; außerdem stand er in engster wissenschaftlicher Verbindung mit Zsigmondy, der seine Messungen den Smoluchowskischen Fragestellungen anpaßte. Seine Arbeiten, die hauptsächlich in die Kriegszeit fielen (40), (44), (48), (49), (52), ließen eine rasche Förderung dieses schwierigen Gebietes hoffen.

Den ganzen Smoluchowski aber haben wir in den zusammenfassenden Vorträgen (34), (37), (51), in denen von hoher Warte aus die Gesamtheit der Molekularphänomene, insbesondere der Schwankungserscheinungen überblickt wird und als letztes Ziel die Gültigkeitsgrenzen des zweiten Hauptsatzes ins Auge gefaßt werden. Das Schulbeispiel für diese Be-

trachtungen ist auch hier die Brownsche Bewegung, welche sich der makroskopischen Betrachtung als Diffusion darstellt. „Es ist ganz falsch, wenn manche Forscher meinen, daß dabei noch ein spezieller, Richtung gebender Einfluß — etwa das osmotische Druckgefälle — tätig sei. Der fiktive Begriff des osmotischen Druckes vertritt die Betrachtung der „verborgenen" Molekularbewegung und ist mit derselben vollkommen äquivalent, darf aber mit ihr nicht verquickt werden. Entweder denke man sich die Substanzteilchen passiv durch den osmotischen Druck getrieben, ohne die Brownsche Bewegung zu berücksichtigen, oder man ziehe die letztere in Rechnung, ohne den fiktiven osmotischen Druck einzuführen". Diese Worte bilden eines von vielen Beispielen dafür, mit welcher Klarheit die verschiedenen Methoden dem statistisch geschulten Auge Smoluchowskis erschienen; daß sie uns heute mehr und mehr selbstverständlich erscheinen, ist nicht zum wenigsten sein Verdienst. Außer der Brownschen Bewegung werden alle erreichbaren Schwankungserscheinungen herangezogen, aus der Radioaktivität, der Kolloidchemie, der Elektrochemie bis hin zu eigens erdachten Mechanismen mit Quarzfaden, Spiegel, Sperrklinke und Ventil, wobei stets auch die Grenze der experimentellen Ausführbarkeit überschlagen wird. Mit Rücksicht auf den zweiten Hauptsatz ist das Ergebnis dieses, daß Arbeit tatsächlich auf Kosten von Wärme niederer Temperatur erhalten werden kann, daß Wärme tatsächlich von selbst von niederer zu höherer Temperatur übergehen kann, daß die scheinbar irreversibeln Prozesse tatsächlich reversibel sind. Freilich wird nutzbare Arbeit nicht fortgesetzt aus Wärme gewonnen und die Zeitdauer der Wiederkehr wächst bei einem sogenannten irreversibeln Prozeß ins Unendliche, je mehr man den Bereich der mittleren Schwankung überschreiten will.

Bekanntlich hat Planck den zweiten Hauptsatz als strenges Naturgesetz trotzalledem retten wollen (in einem Leidener Vortrage), indem er ihn etwas anders faßte. Aber Planck ist im Grunde seines Herzens Thermodynamiker; wenn er auch die Statistik durch seine Quantenreform mehr als jeder andere gefördert hat, so ist sie doch nicht die Grundlage seiner Denkweise. Für Smoluchowski aber war die Statistik Lebensluft; ihm stellt sich daher der zweite Hauptsatz als ein Annäherungsgesetz dar, das die Natur in ihren feinsten Äußerungen überall um ein kleines durchbricht und das nur relativ zu unserem technischen Unvermögen gilt. A. Sommerfeld.

Verzeichnis der in deutscher, englischer oder französischer Sprache erschienenen Abhandlungen Smoluchowskis.

1893.

1. Über die innere Reibung in nicht wässerigen Lösungen. 5 SS. (Sitzungsberichte der Wien. Akad. **102**.)

1894.

2. Akustische Untersuchungen über die Elastizität weicher Körper. 35 SS. (Sitzungsber. d. Wien. Akad. **103**.)

1896.

3. Recherches sur la dépendance entre le rayonnement d'un corps et la nature du milieu environnant. 3 SS. (Comptes Rendus de l'Acad. Paris **122**.)
4. Recherches sur une loi de Clausius au point de vue d'une théorie générale de la radiation. 16 SS. (Journal de Physique **5**.)

1897.

5. Dr. Beattie and Dr. Smoluchowski: Conductance produced in gases by Röntgen rays, by ultraviolet light, and by uranium, and some consequences thereof. 19 SS. (Philosophical Magazine **43**.)
6. Lord Kelvin, Dr. Beattie, Dr. Smoluchowski: Experiments on the electrical phenomena produced in gases by Röntgen rays, by ultraviolet light and by uranium. 35 SS. (Proceedings Edinbourgh Roy. Soc. **21**.)

1898.

7. Lord Kelvin, Dr. Beattie, Dr. Smoluchowski: On the electrical equilibrium between uranium and an insulated metal in its neighbourhood. 2 SS. (Philosophical Magazine **45**.)

8. Über Wärmeleitung in verdünnten Gasen. 29 SS. (Wied. Annal. d. Physik **64.**)
9. Über den Temperatursprung bei Wärmeleitung in Gasen. 26 SS. (Sitzungsber. d. Wien. Akad. **107.**)
10. On conduction of heat in rarefied gases. 14 SS. (Philosoph. Magazine **46.**)
11. Neuere Untersuchungen über die Wärmeleitung in Gasen. (Österr. Chemiker-Zeitung **2.**)

1899.

12. Etherion, a new gas. 2 SS. (London, Nature **59.**)
13. Weitere Studien über den Temperatursprung bei Wärmeleitung in Gasen. 19 SS. (Sitzungsber. d. Wien. Akad. **108.**)

1901.

14. Über die Atmosphäre der Erde und der Planeten. 6 SS. (Diese Zeitschr. **2**, 307—313.)

1903.

15. Sur les phénomènes aérodynamiques et les effets thermiques qui les accompagnent (Bull. Acad. Crac. **43.**)

1904.

16. On the principles of aerodynamics and their application, by the method of dynamical similarity, to some special problems. 14 SS. (Philos. Magazine **7.**)
17. Über Unregelmäßigkeiten in der Verteilung von Gasmolekülen und deren Einfluß auf Entropie u. Zustandsgleichung. 15 SS. (Boltzmann-Festschrift.)

1905.

18. Zur Theorie der elektrischen Kataphorese und der Oberflächenleitung. 2 SS. (Diese Zeitschr. **6**, 529—531.)

1906.

19. Zur kinetischen Theorie d. Brownschen Molekularbewegung und der Suspensionen. 24 SS. (Ann. d. Phys. **21.**)

1908.

20. Molekularkinetische Theorie der Opaleszenz von Gasen im kritischen Zustande, sowie einiger verwandter Erscheinungen. (Ann. d. Phys., **25**, 205—226.)

1909.

21. Über ein gewisses Stabilitätsproblem der Elastizitätslehre u. dessen Beziehung zur Entstehung von Faltengebirgen. (Bull. Acad. Crac. Juni 1909, S. 3—20.)
22. Versuche über Faltungserscheinungen schwimmender, elastischer Platten. (Bull. Acad. Crac. November 1909, S. 727—734.)

1910.

23. Sur la conductibilité calorifique des corps pulvérisés. (Bull. Acad. Crac., Mai 1910, p. 129—153.)
24. Sur la théorie mécanique de l'érosion glaciaire. (Comptes Rendus **150**, 1368—1371.)
25. Zur kinetischen Theorie der Transpiration und Diffusion verdünnter Gase. (Ann. d. Phys. **33**, 1559—1570.)
26. Über Wärmeleitung pulverförmiger Körper und ein neues hierauf gegründetes Wärme-Isolierungsverfahren. 7 SS. (II. Internat. Kältekongreß, Wien.)

1911.

27. Bemerkung zur Theorie des absoluten Manometers von Knudsen. (Ann. d. Phys. **34**. 182—184.)
28. Some remarks on conduction of heat through rarefied gases. (Phil. Mag. **21**, 11—14.)
29. Über die Wechselwirkung von Kugeln, die sich in einer zähen Flüssigkeit bewegen. (Bull. Acad. Crac. Januar 1911, S. 28—29.)
30. Zur Theorie der Wärmeleitung in verdünnten Gasen und der dabei auftretenden Druckkräfte. (Bull. Acad. Crac., Juli 1911, S. 432—453.)
31. Beitrag zur Theorie der Opaleszenz von Gasen im kritischen Zustande. (Bull. Acad. Crac., Oktober 1911, S. 493—502.)

1912.

32. On opalescence of gases in the critical state. (Phil. Mag. **23**, 165—173.)
33. On the practical applicability of Stokes Law of resistance and the modifications of it required in certain cases. (International Congress of Mathematics. at Cambridge.)
34. Experimentell nachweisbare, der üblichen Thermodynamik widersprechende Molekularphänomene. (Diese Zeitschr. **13**, 1069—1080.)

1913.

35. Anzahl und Größe der Moleküle und Atome. (Scientia, **13**, 12—29.)
36. Einige Beispiele Brownscher Molekularbewegung unter Einfluß äußerer Kräfte. (Bull. Acad. Crac., S. 418—437.)
37. Göttinger Vorträge über die kinetische Theorie der Materie und Elektrizität: Gültigkeitsgrenzen des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie. Teubner, Leipzig, S. 89—121. (Diese Zeitschr. **14**, 261—262).

1914.

38. Elektrische Endosmose und Strömungsströme. Graetzs Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus. (Barth, Leipzig. II. Band. S. 366—428.)
39. Bemerkungen zu der Arbeit Banlis: Theoretische Behandlung der Erscheinungen in verdünnten Gasen. (Ann. d. Phys. **45**, 623—624.)
40. Studien über Molekularstatistik von Emulsionen und deren Zusammenhang mit der Brownschen Bewegung. (Sitzungsber. d. Wien. Akad. **123**, 2381—2405.)

1915.

41. Über „durchschnittliche maximale Abweichung" bei Brownscher Molekularbewegung und Brillouins Diffusionsversuche. (Sitzungsber. d. Wien. Akad. **124**, 263—276.)
42. Molekulartheoretische Studien über Umkehr thermodynamischer irreversibler Vorgänge und über Wiederkehr abnormaler Zustände. (Sitzungsber. d. Wien. Akad. **124**, 339—368.)
43. Notiz über die Berechnung der Brownschen Molekularbewegung bei der Ehrenhaft-Millikanschen Versuchsanordnung. (Diese Zeitschr. **16**, 318—321.)
44. Über die zeitliche Veränderlichkeit der Grup-

pierung von Emulsionsteilchen und die Reversibilität der Diffusionserscheinungen. (Diese Zeitschr. 16, 321—327.)
45. Über gewisse Mängel in der Begründung des Entropiesatzes und der Boltzmannschen Grundgleichung in der kinetischen Gastheorie. (Bull. Acad. Crac., S. 164—178.)
46. Zur Theorie der Zustandsgleichungen. (Ann. d. Phys. 48, 1098—1102.)
47. Über Brownsche Molekularbewegung unter Einwirkung äußerer Kräfte und deren Zusammenhang mit der verallgemeinerten Diffusionsgleichung. (Ann. d. Phys. 48, 1103—1112.)

1916.

48. Studien über Kolloidstatistik und den Mechanismus der Diffusion. (Kolloid-Zeitschr. 18, 48—54.)
49. Theoretische Bemerkungen über die Viskosität der Kolloide. (Kolloid-Zeitschr. 18, 190—195.)
50. Experimentelle Bestätigung der Theorie Lord Rayleighs, betreffend die Natur des Himmelblaus. (Vorläufige Mitteilung. Bull. Acad. Crac., S. 219—222.)
51. Drei Vorträge über Diffusion, Brownsche Molekularbewegung und Koagulation von Kolloidteilchen. (Diese Zeitschr. 17, 557—571 und 585—599.)

1917.

52. Versuch einer mathematischen Theorie der Koagulationskinetik kolloider Lösungen. (Zeitschrift f. phys. Chemie, 92, 129—168.)
53. Über den Begriff der Wahrscheinlichkeit und das Gesetz des Zufalls in der theoret. Physik. (Im Manuskript.)

Etwa 35 Arbeiten in polnischer Sprache, darunter ein zusammenfassender Bericht über Brownsche Bewegung in der Witkowski-Festschrift und ein großes didaktisches Werk „Ratgeber für das Selbststudium" konnten hier wegen der Satzschwierigkeiten nicht aufgeführt werden.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Mechanische Theorien des elektromagnetischen Feldes.

Von A. Korn.

IV.

Ponderomotorische Wirkungen auf einfach zusammenhängende Körper. Grundlegung der Elektrostatik.

Bei der grundsätzlichen Voraussetzung, daß in dem elektromagnetischen Felde mechanische Geschwindigkeiten u, v, w von der Form

$$\left.\begin{aligned} \mu u &= \mu_0\left(u_0 + u_1 \cos\frac{t}{T}2\pi + u_2 \sin\frac{t}{T}2\pi\right), \\ \mu v &= \mu_0\left(v_0 + v_1 \cos\frac{t}{T}2\pi + v_2 \sin\frac{t}{T}2\pi\right), \\ \mu w &= \mu_0\left(w_0 + w_1 \cos\frac{t}{T}2\pi + w_2 \sin\frac{t}{T}2\pi\right) \end{aligned}\right| \quad (1)$$

vorhanden sind (μ Dichte, μ_0 die konstante mittlere Dichte, T eine sehr kleine Zeitdauer), haben wir aus dem mechanischen Grundprinzip (Abh. I[1])) und der Annahme des universellen Dralles (Abh. II[2])) die Differentialgleichungen abgeleitet, denen

$$u_1, v_1, w_1; \; u_2, v_2, w_2$$

genügen müssen und diese Differentialgleichungen in eine für die Anwendungen geeignete Form transformiert (Abh. III[1])).

Nun wenden wir uns der Bestimmung der sichtbaren Geschwindigkeiten u_0, v_0, w_0 zu, die wir bisher als in bestimmter Weise gegeben ansahen.

Das mechanische Grundprinzip, unter Berücksichtigung der Inkompressibilitätsbedingung

$$\frac{\partial \delta x}{\partial x} + \frac{\partial \delta y}{\partial y} + \frac{\partial \delta z}{\partial z} = 0$$

durch den Druckmultiplikator, liefert für inkompressible Medien die Gleichung

$$\left.\begin{aligned} \sum\Bigg[\delta x\Big\{\mu\frac{du}{dt}\overline{d\tau} + 2\int_\Omega \mu(\xi,\eta,\zeta,t)\Big(u(\xi,\eta,\zeta,t) \\ - u_0(x,y,z,t)\Big)\Big|\hat{u}_\nu\, d\omega\Big\} \\ + \ldots - p\left(\frac{\partial\delta x}{\partial x} + \frac{\partial\delta y}{\partial y} + \frac{\partial\delta z}{\partial z}\right)\overline{d\tau}\Bigg] = 0, \end{aligned}\right| \quad (2)$$

aus der wir früher die Differentialgleichungen des Feldes ableiten konnten. Wir betrachten gesondert ein Element $\overline{d\tau}$, mit der Oberfläche Ω und einem inneren Punkte $\overline{x}$, $\overline{y}$, $\overline{z}$ und den Außenraum a des Elements, wobei für die relativen Verrückungen im Innern des Elements $\overline{d\tau}$ noch Bedingungsgleichungen hinzugefügt werden könnten, und wir schreiben daher die Gleichung des mechanischen Grundprinzips so:

1) Diese Zeitschr. 18, 323, 1917.
2) Diese Zeitschr. 18, 341, 1917.

1) Diese Zeitschr. 18, 504, 1917.

Physikalische Zeitschrift

Herausgegeben von

Dr. H. TH. SIMON und Dr. P. DEBYE

o. ö. Professor an der Universität Göttingen. o. ö. Professor an der Universität Göttingen.

Schriftleitung:

H. TH. SIMON

ACHTZEHNTER JAHRGANG

1917

Mit vierzehn Tafeln

Leipzig

Verlag von S. Hirzel

1917